Über die Ursache des Saftsteigens in den Pflanzen.

Von Joseph Böhm.

(Mit 1 Tafel.)

Überzeugt von der Wichtigkeit der Erkenntniss der Ursache, durch welche das Aufsteigen des Nahrungssaftes in den Pflanzen bedingt wird, haben sich die ältesten und neuesten Physiologen bemüht, dieselbe aufzufinden. Die ältesten Forscher erklärten sie für eine Capillarröhrchenwirkung. Da aber die Spiralgefässe höchstens im Frühjahre bei manchen Pflanzen Saft führen, andere Gewächse aber, die Coniferen nämlich, gar keine Spiralgefässe besitzen, so wurde diese Irrlehre bald verlassen, um der jetzt allgemein herrschenden Ansicht, dass die Saftsteigung eine Diffusionswirkung sei, Platz zu machen.

Um sich die Saftsteigung auf endosmotischem Wege zu erklären, setzte man voraus, dass die Säfte in den oberen Pflanzentheilen concentrirter seien als in den unteren. Abgesehen davon, dass diese Annahme mit manchen anderweitigen Erscheinungen im Widerspruche stand, haben directe Versuche das gerade Gegentheil [1]) bewiesen, oder es wurde die Concentrationsverschiedenheit doch so gering gefunden [2]), dass sie zur Erklärung der Ursache des aufsteigenden Saftstromes nicht ausreicht.

Hofmeister [3]) publicirte mehrere exacte, diesen Forscher kennzeichnende Abhandlungen, welche das Räthsel zu lösen schienen. Dieser Forscher suchte nämlich darzuthun, dass die Triebkraft für den aufsteigenden Saftstrom nicht von den oberen, sondern von den unteren Pflanzentheilen, den Wurzeln nämlich, aufgebracht werde. Künstliche, aus kurzen Glasröhren verfertigte, mit einem Diffusionsstrom ermöglichenden Membranen geschlossene und mit

---

1) Unger, Studien über sogenannte Frühlingssäfte der Pflanzen. Sitzungsberichte der kais. Akad. d. W. math.-nat. Classe, Bd. 25, 1857, S. 441.

2) Hartig, Über Bewegung des Saftes in Holzpflanzen u. s. w., bot. Ztg. 1853. 1856, 1858 und 1861.

3) Hofmeister, Über das Steigen des Saftes der Pflanzen. Ber. d. k. Säch. Ges. d. Wiss. 8. Aug. 1857, S. 149 u. s. w. — Flora, 1858, S. 1. — Über Spannung, Ausflussmenge u. s. w. Flora, 1862, S. 97 u. s. w.

einer Lösung von verschiedenen Gummiarten u. s. w. gefüllte Zellen diffundirten fast reines Wasser. Aus ähnlich sich verhaltenden Zellen sollen die Wurzeln bestehen und durch die von ihnen aufgebrachten Kräfte der Saft in die Höhe gepresst werden.

Diese Erklärungsweise des Saftsteigens erklärt die Erscheinungen des Blutens von *Vitis*, *Betula*, *Acer* etc. vollkommen. Der Saft eines im Frühjahre oberhalb der Wurzel abgeschnittenen Rebstockes wird bekanntlich mit bedeutender Kraft in die Höhe getrieben. — Die Erscheinung des Blutens dauert aber nicht lange; sie hört auf, wenn sich die Blätter bis zu einem gewissen Stadium entwickelt haben. Das spätere Saftsteigen schien mir selbst bei blutenden Gewächsen durch Hofmeister nicht erklärt. Transspirationsversuche lehren, dass die Gewächse unter gewissen Umständen eine enorme Menge von Wasser verdampfen. Würde dieses durch die Wurzel aufwärts gepresst, so müsste der Stamm, wenn er quer durchgeschnitten wird, gerade unter den Verhältnissen, die wir bald näher kennen lernen werden, am heftigsten bluten. Werden die höchsten Bäume im Frühjahre nach der Entwickelung der Blätter geschlagen, so fliesst aus der untern Schnittfläche auch nicht ein Tropfen Wasser. Dieses müsste aber, wenn die Wurzel dasselbe bis in den Baumwipfel heben sollte, mit einer Kraft von mehreren Atmosphären herausquellen.

Diese Betrachtungen und mehrere mit der Ansicht von Hofmeister im Widerspruche stehende Versuchsresultate waren es, welche mich an der Richtigkeit der von Hofmeister gegebenen Erklärungsweise des Saftsteigens (nicht des Blutens) sehr zweifeln machten und mich bestimmten, hierüber entscheidende Versuche anzustellen. Wäre, so schloss ich, die von Hofmeister gegebene Erklärungsweise der Wurzelfunction die richtige, so müsste es gelingen, bei Zweigen, welche in Wasser gesetzt, leicht Wurzeln bilden und weiter wachsen, durch eine mechanische Kraft diese Wurzelbildung vielleicht zu hindern und sie möglicherweise bei allen Gewächsen zu ersetzen. Ich wählte zu diesen Versuchen Zweige von *Salix* und zwar die bei uns gemeine *Salix purpurea* und *fragilis*. Das untere Ende des Zweiges wurde in eine beiläufig 1 Zoll lange Kautschukröhre so gesteckt, dass das untere freie Ende des Zweiges 3—6 Zoll betrug, und dann das obere Ende der Kautschukröhre mit dem Zweige sorgfältig ver-

bunden. Dieser Verband darf aber einerseits nicht zu fest sein, damit der Zweig hier nicht Schaden leide, andererseits aber auch nicht zu locker, damit das Wasser nicht zwischen Röhre und Zweig durchgepresst werde. Nachdem das Kautschukrohr an seinem freien Ende aufgestülpt worden, wurde der Zweig in den kurzen, 6 — 12 Zoll langen, mit Wasser gefüllten Schenkel von eigens zu diesen Versuchen angefertigten Injectionsgläsern (Fig. 1) gesteckt, das aufgestülpte Kautschukrohr über das etwas erweiterte Ende dieses Schenkels zurückgerollt, und hier wieder ein gut schliessender Verband angelegt. Wurde beim Einbinden des Zweiges vielleicht etwas Luft mit eingebunden, so lässt sich dieselbe leicht durch Neigung des Apparates entfernen. Die Länge des andern Schenkels des Injectionsgefässes variirte bei den verschiedenen Apparaten von 6 — 40 Zoll, seine Weite beträgt am besten 3 — 4 Linien. An sein oberes Ende wurde eine weite Glasröhre (Trichter) angeblasen. Um die Zerbrechlichkeit des Apparates zu verringern, wurde die Verbindungsröhre beider Schenkel nicht zu lange gemacht, und beide Schenkel, nachdem eine Korkplatte dazwischen gelegt worden, gut verbunden. Die lange Röhre sammt dem Trichter wurden sodann mit Quecksilber vollgefüllt.

Die Versuche wurden mit 40 Apparaten, bei denen der Quecksilberdruck von 6—40 Zoll variirte, Ende November 1862 begonnen, und theils in meiner Wohnung, theils im Gewächshause des botanischen Universitätsgartens ausgeführt. Das Resultat war folgendes:

Das Quecksilber sank mit gehöriger Rücksicht auf die verschiedene Grösse der Zweige, deren schwerste nicht über 60 Grm. wogen, in allen gleichen Apparaten fast gleich viel, anfangs besonders bei grossem Drucke rascher, dann langsamer. Sobald die Trichter leer von Quecksilber waren, wurden diese mit Wasser gefüllt, durch Auflegen der flachen Hand geschlossen und durch geeignete Neigung der Apparate das Quecksilber in den früheren Stand zurückgeführt. Wenn die Weite der Verbindungsröhre beider Schenkel 4 Linien oder darüber beträgt, so ist die Operation, auch wenn das Röhrenstück kurz ist, bald vollendet. Die Trichter haben, wie man sieht, den Zweck, die Höhe der Quecksilbersäule ziemlich constant zu erhalten. — Die Knospen fingen nun an sich zu entwickeln, und zwar, besonders bei grossem Drucke früher, als die der daneben in Wasser gestellten Zweige. Wurzeln bildeten aber nur jene Zweige, welche unter einem geringern Drucke als

10 Zoll Quecksilber standen. Die jungen Zweigchen jener Äste, welche unter einem grösseren Drucke als 10 Zoll Quecksilber standen, wuchsen höchstens zu einer Länge von 3 Zoll heran; dann wurden deren Blättchen von der Spitze an schwarz oder es vergeilten dieselben, das Quecksilber hörte auf zu fallen, und die Zweige vertrockneten endlich, so weit sie sich in der Luft befanden, vollständig.

Wurden Zweigstücke zu Versuchen verwendet, so floss das Wasser, selbst wenn nur eine Wassersäule, die länger als das Zweigstück war, als Druckkraft benützt wurde, aus der oberen Schnittfläche. Das Ausfliessen des Wassers hörte jedoch nach einigen Tagen, falls die Knospen sich zu entwickeln begannen, auf. Wurden Zweige, welche unter einem Quecksilberdrucke von 40 Zoll Quecksilber standen, nachdem die Knospen sich zu entwickeln angefangen hatten, gestutzt, so floss aus denselben kein Wasser mehr.

Dass die unter einen grossen Druck gesetzten Zweige keine Wurzeln bildeten, schien mir möglicher Weise dadurch bedingt, dass auf diese Weise die Spiralgefässe der Zweige, wenigstens so weit als diese in Wasser eingesenkt waren, dauernd mit Wasser injicirt wurden. Um in dieser Beziehung einen normalen Zustand herzustellen, versiegelte ich vor dem Versuche die Schnittflächen der Zweige, und da ich aus früheren Versuchen wusste, dass solche unten verschlossene Zweige, wenn sie in's Wasser gestellt werden, in der Regel vertrocknen, so wurde an selben gleichzeitig oberhalb der versiegelten Stelle die Rinde entweder etwas angeschnitten oder stückweise ganz entfernt. Diese Zweige bildeten nun selbst bei einem Drucke von 40 Zoll Quecksilber, wenn auch nicht viele, so doch einige Wurzeln und entwickelten sich einige Zeit kümmerlich weiter. — Diese und anderweitige Erscheinungen, die sich bei obigen Versuchen an unten geschlossenen und nicht geschlossenen Zweigen zeigten, und auf welche ich bei einer andern Gelegenheit zurückkommen werde; ferner der Umstand, dass bewurzelte und nicht bewurzelte Zweige unter einem grossen Quecksilberdruck nicht mehr transspirirten als unter gewöhnlichen Verhältnissen; endlich die oben angeführten Betrachtungen, welche mich zu vorstehenden Versuchen aufforderten, verschafften mir die Überzeugung: dass die den Saft in den Stamm und in die Blätter treibende Kraft nicht von der Wurzel aufgebracht werde.

Wenn es nun in der That weder Capillarröhrchen noch Diffusionswirkung (sei diese von den untersten oder von den obersten Zellen der Pflanze eingeleitet) ist, welche den Pflanzensaft in die Höhe hebt, so fragt es sich, was ist denn nun die Ursache des Saftsteigens? Bei einiger Überlegung kann die Antwort auf diese wichtige Frage schon a priori nicht zweifelhaft sein. Die Ursache des Saftsteigens kann nur eine Saugwirkung, kann nur Folge der Transspiration sein.

Bekanntlich wurde erst durch Unger [1]) nachgewiesen, dass die Pflanzen durch die Blätter weder tropfbares noch dunstförmiges Wasser aufnehmen. Dieses Factum stimmt sehr gut mit der Erklärung von Hofmeister über die Ursache des Saftsteigens. Mit dieser Erklärungsweise stimmt ferner auch die Behauptung aller Pflanzenphysiologen, dass die Gewächse auch im absolut feuchten Raume Wasser abgeben.

Wenn die Pflanzen im vollkommen feuchten Raume wirklich Wasser abgeben würden, so könnte dieses nur in Folge einer Diffusionswirkung geschehen, es müsste dasselbe durch eine „Vis a tergo" herausgepresst werden; und meine oben gemachte Schlussfolgerung würde somit sich als unbegründet und unrichtig erweisen.

Die verlässlichsten mir bekannt gewordenen Transspirationsversuche wurden von Unger [2]) mit Topfpflanzen angestellt. Meine Versuche lehrten mich, dass sich hierzu viel besser Weiden eignen, welche aus in Wasser gestellten Zweigen gezogen werden. Die abgeschnittenen Zweige werden nämlich luftdicht in die eine Öffnung eines doppelt durchbohrten Kautschukstöpsels gesteckt. Der Kautschukstöpsel muss ebenfalls luftdicht in den Hals einer Flasche oder eines Kolbens eingesetzt werden können. Diese Apparate haben, abgesehen von der Bequemlichkeit, mit welcher das transspirirte Wasser wieder ersetzt und der Leichtigkeit, mit welcher das bei dem Versuche vielleicht feucht gewordene Gefäss schnell und vollkommen abgetrocknet werden kann, noch den Vortheil, dass sich die Wurzeln stets unter denselben Verhältnissen befinden.

---

[1]) Unger, Nehmen die Blätter der Pflanzen dunstförmiges Wasser aus der Atmosphäre auf? Sitzungsberichte d. math.-nat. Cl. d. kais. Akad. d. W. in Wien. 1852. Bd. IX, S. 885.

[2]) Unger, Neue Untersuchungen über die Transspiration der Gewächse. Sitzungsberichte d. math.-nat. Cl. d. kais. Akad. d. W. in Wien. Bd. 44, 2 Abthlg. 1861, S. 181.

Durch die bisher gemachten Transspirationsversuche ist es bekannt, dass die Menge des von den Pflanzen verdunsteten Wassers je nach dem Feuchtigkeitsgrad der Luft sehr variirt. Über die Menge des ausgehauchten Wassers jedoch weichen die Angaben sehr ab. Ich will von meinen diesfälligen Versuchen nur anführen, dass ein Zweig, welcher, ehe er zum Versuche verwendet wurde, 12·5 Grm. wog, nachdem er überreich bewurzelt und belaubt war, von 5 Uhr Früh bis 8 Uhr Abends im Luftzuge und unter Einfluss des directen Sonnenlichtes 61·62 Grm. transspirirte. Von 8 Uhr Abends bis 5 Uhr Früh des andern Tages verdunstete derselbe Zweig nur 13·46 Grm.

Von den bisherigen Angaben jedoch völlig abweichende Resultate ergaben meine Versuche im absolut feuchten Raume. Ich stellte mir denselben dadurch her, dass ich einen grossen Cylinder theilweise mit Wasser füllte, welches einige Tage über im Zimmer gestanden war. In diesen Cylinder wurde ein zweiter, nur einige Zoll hoch mit Wasser gefüllter kleinerer Cylinder gestellt und durch einen hineingelegten Pflasterstein zum Untersinken gebracht. Die Wände dieses Cylinders wurden mit Wasser bespritzt und derselbe, nachdem auf den Schwerstein die gewogene Versuchspflanze sammt einem mit Wasser gefüllten und ebenfalls gewogenen Becherglase und einem Thermometer gestellt worden, mit einer angeschliffenen Glasplatte bedeckt und mit Baumwachs wasserdicht verschlossen. Nachdem die Glasplatte noch mit einem Ziegel beschwert war, wurde der äussere Cylinder soweit mit Wasser gefüllt, dass das innere Gefäss ganz von demselben umgeben war. Die Versuche wurden, da mein Zimmer den ganzen Tag über der Sonne ausgesetzt und in demselben die Temperatur wenig constant ist, am besten Abends angestellt. Am folgenden Morgen zeigte sich der Stand des Thermometers in der Regel völlig unverändert oder es war die Temperatur im Raume des innern, durch die Wasserhülle geschützten Cylinders höchstens um 0·1°C. gefallen (nie gestiegen). Die möglichst schnell vorgenommenen Wägungen zeigten, dass weder die Pflanze noch das daneben gestellte Becherglas auch nur das Geringste an Gewicht verloren hatten. Die von anderen Physiologen in dieser Beziehung gemachten Versuche wurden offenbar nicht unter den oben angegebenen Vorsichtsmassregeln angestellt. Stellt man nämlich eine Pflanze nebst einem gewo-

genen Wassergefässe unter einen Glassturz, so verliert die Pflanze allerdings nicht unbedeutend an Gewicht. Dasselbe geschieht aber auch aus leicht begreiflichem Grunde, nämlich in Folge der Temperaturssehwankungen, mit dem gewogenen Wassergefässe. Stellt man diesen Versuch unter Einwirkung des directen Sonnenlichtes an, so ist die Menge des von der Pflanze transspirirten Wassers sogar eine sehr bedeutende. Es beschlägt sich aber auch das Gefäss ganz mit an den relativ kälteren Wänden verdichteten Wasserdämpfen.

In ein absolut feuchtes Medium kann man obige Versuchspflanzen auch dadurch bringen, dass man sie, indem man in die zweite Öffnung des Kautschukrohres ein nach Erforderniss langes Glasrohr einsetzt, völlig in Wasser einsenkt. Abgesehen aber davon, dass hierbei die Pflanze selbst ganz benetzt wird und bis sie völlig getrocknet ist, doch einige Zeit vergeht, treten hierbei auch andere Erscheinungen auf (die Pflanze wird nämlich schwerer), die ich bei einer andern Gelegenheit besprechen werde.

Es steht somit fest, dass die Pflanzen im absolut feuchten Raume nicht verdunsten; hiermit fällt aber auch die Annahme einer *Vis a tergo* oder einer Wärmequelle in den Pflanzen (wie Sachs [1]) will), von selbst weg. Die Menge des verdunsteten Wassers richtet sich stets nach dem Feuchtigkeitsgrad des die Pflanze umgebenden Mediums. Es verdunsten somit Pflanzen am meisten, wenn sie im Luftzuge dem directen Sonnenlichte ausgesetzt sind.

Mit der Lösung dieser Frage ist aber auch jene nach der Ursache des aufsteigenden Saftstromes gegeben. Wenn die oberflächlichen Zellen der Pflanze Wasser verdampfen, so müssen sie entweder zusammensinken und vertrocknen, oder eine entsprechende Menge Flüssigkeit von den gegen das Innere der Pflanze gelegenen Nachbarzellen aufsaugen. Letztes findet nun bei normalen Verhältnissen der Pflanze wirklich Statt; jede Zelle saugt aus der inneren Nachbarzelle so viel Wasser, als ihr von den äusseren und oberen Nachbarzellen entzogen wurde, und diese Mittheilung pflanzt sich fort bis zu den äussersten Wurzelzellen, welche ihr abgegebenes Wasser durch das ihrer äusseren Umgebung ersetzen.

---

[1]) Sachs, Sitzungsb. d. math.-nat. Cl. d. k. Ak. d. W. in Wien. 26. Bd. 1857, S. 326—331.

Wenn diese Anschauung richtig ist, so muss sie sich auch durch den Versuch erweisen lassen. Hierzu eignen sich wieder die auf die oben angegebene Weise gezogenen Weiden vortrefflich, indem man in die zweite Öffnung des Kautschukstöpsels luftdicht ein Manometer einsetzt (s. Fig. 2). Der ganze Apparat wird vorerst vollständig mit Wasser, und dann beide Manometerschenkel zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt. Die Weite der Manometerröhre wird am besten so gewählt, dass das Füllen derselben mit Quecksilber durch die Capillarröhrchenwirkung derselben nicht gestört wird, 2—3 Linien. Schon bei den Versuchen über das Verhalten der Zweige, wenn diese unter einen grossen Druck gesetzt wurden, machte ich derartige Versuche, um nämlich die hierbei auftretenden Erscheinungen überhaupt kennen zu lernen und zu erfahren, wie sich die Wurzelbildung bei geringerem Drucke als der atmosphärische ist, verhalte. Ich fand, dass das Quecksilber auf diese Weise, gleichgiltig ob ich Zweigstücke oder Zweige verwendete, ob diese gross oder klein, unten offen oder theilweise entrindet und geschlossen waren, um 6—7 Zoll gehoben wurde. Ich hielt dies anfangs für eine endosmotische Wirkung. Nach einiger Zeit stellte sich aber, indem aus dem Zweige Luft ausgeschieden wurde, das Quecksilber wieder in's Gleichgewicht.

In Folge dieser Resultate wurden die Versuche mit bewurzelten und beblätterten Zweigen anfänglich ebenfalls mit Manometern gemacht, deren Schenkel nicht über 10 Zoll lang waren. Dieselben erwiesen sich jedoch in den meisten Fällen als viel zu kurz, und ich war nicht wenig erstaunt, als von einem ziemlich stark beblätterten, unten versiegelten Exemplar, dessen Gewicht im frischen Zustande 41·4 Grm., ausgetrocknet jedoch nur 25·2 Grm. betrug, das Quecksilber an einem sonnigen Tage in kurzer Zeit um 21 Zoll und 9 Linien gehoben wurde. Andere viel stärkere Zweige hoben das Quecksilber oft nur um 7 Zoll. Wenn das Quecksilber seinen relativ höchsten Stand erreicht hat, so wird, da die Transspiration noch fortdauert, von den Wurzeln Luft ausgeschieden. Diese Luftausscheidung beginnt aber begreiflicher Weise schon, wenn das Quecksilber erst 5—10 Zoll gehoben wurde.

Würde man die Versuche nur unter obigen Umständen machen, so würde man das Ergebniss derselben einer endosmotischen Wirkung zuschreiben. Von dieser Ansicht kommt man aber zurück,

wenn man die Experimente unter verschiedenen Verhältnissen anstellt. Es zeigt sich nämlich, dass bei gleicher Röhrenweite des Manometers insbesondere die Schnelligkeit des Steigens des Quecksilbers von dem Feuchtigkeitsgrade des umgebenden Mediums und von der Anzahl der Blätter bedingt ist. Macht man die Versuche im absolut feuchten Raume, so ändert sich der Stand des Quecksilbers weder bei reichbeblätterten und bewurzelten noch bei unbeblätterten und unbewurzelten Zweigen. Es ist somit klar, dass wenn sich die Bedingungen der Transspiration ändern, auch gleichlaufende Schwankungen in der gehobenen Quecksilbersäule auftreten müssen. — Nach und nach sucht sich der Stand des Quecksilbers in beiden Manometerschenkeln wieder auszugleichen.

Die angeführten Versuche machen es zweifellos, dass die Ursache des aufsteigenden Saftstromes in der Verdunstung liegt, dass der Saft in die Pflanzen durch den Luftdruck gepresst wird, dass der ganze Process nur eine Folge von Saugung sei. Es war mir nun darum zu thun, zu erfahren, wie hoch durch Verdunstung einer mit Wasser gefüllten Blase, welche einen Diffusionsstrom einzuleiten geeignet ist, das Quecksilber gehoben werde. Zu meinen diesfälligen bisherigen Versuchen wählte ich Rindsblasen. Würde man diese einfach mit Wasser füllen, so würden sie in dem Masse, als das Wasser verdunstet, zusammenfallen. Um dieses zu verhindern, binde ich die weit aufgeschnittene und über einen aus ziemlich starkem Metalldrathe geflochtenen Ballon gezogene Blase sehr sorgfältig (luftdicht) an ein hufeisenförmig gebogenes, unten ausgerandetes Glasrohr und stecke das andere Ende dieses Rohres in dem Apparat Fig. 2 an die Stelle der Pflanze.

Um das vollständige Füllen des Apparates mit Wasser, was in einer hinreichend grossen, mit Wasser gefüllten Wanne geschieht, zu erleichtern, gibt man dem Apparate am besten die Form von Fig. 3. Ehe der Manometer in Quecksilber getaucht wird, lasse ich, um den Versuch abzukürzen, das überflüssige Wasser ausfliessen. Dies geschieht dadurch, dass ich an die Manometerröhre ein einige Zoll langes Kautschukrohr stecke und den Apparat so weit aus dem Wasser hebe, dass nur das untere Ende des Schlauches etwas in Wasser taucht. Wenn das weitere Ausfliessen des Wassers aufgehört, und somit die Blase enge an den Drathballon anliegt, wird

der Apparat so weit gesenkt, dass die Manometerröhre selbst in Wasser taucht, die Kautschukröhre wird dann weggenommen und das Manometerrohr unter Wasser in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäss getaucht.

Ich habe diese Versuche mit verschiedenen Rindsblasen angestellt, im günstigsten Falle wurde aber das Quecksilber nur 7 Zoll gehoben; dann wurde Luft eingesaugt. Wurde statt der Rindsblase Pergamentpapier angewendet, so wurde das Quecksilber nur um 1—1¼ Zoll gehoben.

Diese durch Saugung aufgebrachte Hubkraft von 7 Zoll Quecksilber ist keine unbedeutende, und sie ist, da die verdunstende Blase nur die Oberfläche der transspirirenden Pflanze darstellt, vielleicht selbst hinreichend, das Aufsteigen des Saftstromes in die Krone der höchsten Bäume, die es gibt, zu erklären. Die Wand der thierischen Blase hat aber einerseits nicht den Bau einer Zellmembran[1]) und andererseits ist jede selbst nur einen Zoll hohe Landpflanze aus vielen übereinander gelagerten Zellen gebildet.

Ich war daher bestrebt, ein Object ausfindig zu machen, das mir zur Veranschaulichung dieses rein physikalischen Vorganges bei der Saftsteigung ein völliges Äquivalent für die lebende Pflanze liefern sollte.

Um mich zu unterrichten, in wie weit die Ursache der Saugung von im November abgeschnittenen Weidenzweigen vielleicht durch Capillarröhrchenwirkung bedingt sei, liess ich mehrere im November abgeschnittene Zweige von *Salix purpurea* in meinem Zimmer völlig austrocknen. Jetzt, nach mehr als 6 Monaten, darf man wohl annehmen, dass sie völlig abgestorben und lufttrocken sind. Werden solche Zweige in Wasser oder in eine Lösung von Blutlaugensalz oder Eisenchlorid etc. gestellt, so überzeugt man sich auf Querschnitten leicht mit freiem Auge oder mittelst entsprechender Reagentien, dass die Flüssigkeit in den Zweigen kaum höher gestiegen, als diese in die betreffende Flüssigkeit eingesenkt waren. — Diese Zweige nun schienen mir ein viel geeigneteres Object zu den in Rede stehenden Versuchen, als die aus den verschiedenartigen Membranen gefertigten

---

[1]) Jamin (Comptes rendus, 1860) ersetzte in diesem Magnus'schen Versuche die thierische Blase durch eine Alcarazas, eine lithographische Stein- oder Thonplatte; das Quecksilber wurde alsdann auf 720—740 Millim. gehoben.

Apparate. Es handelte sich nur darum, dieselben völlig mit Wasser zu imprägniren. Unter der Luftpumpe geht dies mit grösseren Zweigen nicht an, und gelingt selbst bei kleinen Zweigen nur sehr mühevoll und unvollständig; sehr leicht gelingt dieses aber mittelst der oben beschriebenen Injectionsapparates (Fig. 1). — Sind die Zweige gross, so muss man den Druck wochenlang wirken lassen, und dann ist man noch nicht sicher, ob alle Luft durch Wasser ersetzt ist.

Es genügt jedoch, Zweigstücke zum Versuche zu nehmen. Werden diese einige Tage hindurch durch einen grossen Quecksilberdruck injicirt, so darf man sicher sein, dass alle Theile des Zweiges völlig mit Wasser erfüllt sind, und man kann sich hiervon auch dadurch überzeugen, dass das aus der obern Schnittfläche austretende Wasser endlich keine Luftblasen mehr mit sich führt. (Als wohl eigentlich nicht hieher gehörig, will ich nur kurz erwähnen, dass man in dem Momente, in welchem das Wasser in den ausgetrockneten Zweig getrieben wird, ein eigenthümliches Knistern, wie wenn Glasröhren zerbrochen werden, vernimmt.)

Wurden nun so injicirte, 1—2 Fuss lange Zweige in dem Apparate Fig. 2, statt der Pflanze luftdicht eingesetzt, so wurde das Quecksilber, wenn die Bedingungen der Verdunstung günstig und die Manometerröhren nicht weit waren, binnen 6—12 Stunden bis 22 Zoll lange gehoben! Wurden die Zweigstücke an beiden Schnittflächen luftdicht verschlossen, so stieg das Quecksilber bis 23¼ Zoll. Selbst nur 3 Zoll lange oben und unten verschlossene derartige Zweigstücke hoben das Quecksilber um 17—18 Zoll. — Bei der ferneren Verdunstung wird das Quecksilber nicht mehr weiter gehoben, sondern nur Luft ausgeschieden. Diese Luftsecretion beginnt aber schon viel früher, als das Quecksilber den höchsten erreichbaren Stand eingenommen. — Bei der Injection der Zweige wird aus demselben eine harzige Substanz gepresst, welche die Rinde oft völlig überzieht, und welche, sowie die Rinde selbst, die Verdunstung hemmt, daher man die injicirten Zweige vor dem Versuche am besten entrindet. —

Die vorstehenden Versuche beweisen in einer über jeden Zweifel erhabenen Weise, dass die Ursache des aufsteigenden Saftstromes eine Folge von Transspiration, — ein reiner Saugungsprocess ist; dass die Hubkraft von dem Luftdrucke geliefert wird. — Diese Thatsache wird, wie mich dünkt, manche Erschei-

nungen im Pflanzenleben in einem neuen Lichte erscheinen lassen. Ich erlaube mir hier nur in Kürze auf Einiges aufmerksam zu machen.

Es zeigt sich vorerst der Zweck der Korkhülle und Rinde überhaupt: sie hindert die Transspiration. Die mit dem Wasser aufgesaugten rohen Nahrungsstoffe steigen, ohne sich mit den in der Rinde absteigenden schon assimilirten Säften zu mischen, im Holzkörper in die grünen Blätter. — Die Pflanzen transspiriren am meisten im Sonnenlichte, da werden ihnen also auch die meisten Nahrungsstoffe zugeführt. Die Verdauung aber erfolgt nur in den grünen Pflanzentheilen, durch Einwirkung von Licht und Wärme. Die meist üppigen Gebüsche im humusreichen Waldboden sind vor der Übersättigung mit Salzen, was den Tod der Pflanzen bedingen würde, dadurch geschützt, dass sie im Schatten der Bäume weniger transspiriren, somit nicht mehr Nahrung aufnehmen, als ihnen zuträglich ist.

Es wird ferner klar, warum die (Land-) Pflanzen wenigstens unter den gewöhnlichen Verhältnissen weder dunstförmiges noch tropfbarflüssiges Wasser aufnehmen. Dies vermögen jene Physiologen, welche die Ursache des Saftsteigens in einer endosmotischen Kraft suchen, sei es, dass diese von den obersten oder von den Wurzelzellen aufgebracht werde, nicht, oder wenigstens nicht genügend zu erklären. Jene, welche mit Hofmeister die Hubkraft für den aufsteigenden Pflanzensaft in den Wurzeln zu finden glauben, haben es hierbei allerdings leichter, werden aber doch keinen genügenden Grund angeben können, warum welkende Blätter, wenn sie in eine feuchte Atmosphäre gebracht werden, in kurzer Zeit wieder in früherer Saftfülle dastehen, selbst wenn für den Moment der Wurzel keine neue Flüssigkeit zugeführt wird.

Die Blätter nehmen, wie es jetzt klar zu Tage liegt, eben so wenig und aus demselben Grunde kein dunstförmiges Wasser auf, als dies die (vorausgegangener Verdunstung wegen) auch nur theilweise mehr mit Wasser gefüllte Blase oder die früher ausgetrockneten und dann mit Wasser injicirten Zweige unter gleichen Bedingungen thun. Dass welkende Blätter, in einem mit Wasserdunst gesättigten Raume, in kurzer Zeit ihre frühere Turgescenz erreichen, hat einfach darin seinen Grund, dass so die weitere Verdunstung gehemmt oder gar aufgehoben wird, und dadurch die Zellen Zeit bekommen, sich mit dem von der Wurzel her, wenn auch nur spärlich nachrückenden

Wasser wieder völlig zu füllen. Andererseits ist es klar, dass, wenn welkende Pflanzen mit Wasser benetzt, oder wenn frische, in voller Saftfülle dastehende Gewächse in Salzlösungen oder selbst nur in Wasser getaucht werden, Wasser oder (respective) Salzlösungen aufgenommen werden müssen.

Durch die Verdunstung (Transspiration) kann das Quecksilber unter den günstigsten Bedingungen höchstens 28 Zoll gehoben werden, diese Höhe wird aber bei belaubten und vegetirenden Pflanzen nie erreicht werden. Es ist einleuchtend, dass wenn die Pflanzen aus, mit diesen gleich langen, neben einander liegenden Zellen gebaut wären, dieselben unter den günstigsten Verhältnissen und vorausgesetzt, dass die Saugung mit einer Kraft von 28 Zoll Quecksilber geschähe, ohne dass die Zellen zusammenfallen und in dieselben Luft eintreten würde, — Voraussetzungen, welche nimmer stattfinden werden, — dass, sage ich, die Pflanzen dann nie höher werden könnten, als eine Wassersäule, welche der Atmosphäre das Gleichgewicht hält. Dass Pflanzen nun factisch viel höher werden können, wird nur dadurch möglich, dass dieselben aus vielen kleinen übereinander gelagerten und geschlossenen Zellen bestehen, indem so das Wasser von Zelle zu Zelle emporgepumpt wird. Die Ursache des Saftsteigens fordert, dass die Zellen des Coniferenholzes, soweit dieses den Saft leitet, geschlossene Bläschen sein müssen. Denken wir uns alle Zellen des höchsten Baumes, den es überhaupt gibt, mit Wasser gefüllt, so ist der Druck, welcher durch diese viele tausendmal unterbrochene Wassersäule auf die untersten Zellen ausgeübt wird, dennoch gewiss viel kleiner als der Gegendruck der Atmosphäre. Stellen wir uns nun einen Baum von einer solchen Länge vor, dass das in seinen Zellen befindliche Wasser auf die untersten Zellen einen Druck von fast einer Atmosphäre ausübt, und schreiben wir selbst den äussersten Blattzellen dieses Baumes die Eigenschaft zu, durch Verdunstung eine Quecksilbersäule 28 Zoll hoch zu heben, ehe dieselben zusammenfallen und sich mit Luft füllen, so wäre dies die höchste mögliche Pflanze.

Um von vorne herein die Höhe des höchsten Baumes, den es überhaupt geben kann, bestimmen zu können, müsste man also die Saugkraft der normal fungirenden Blattzellen und die Grösse des Druckes der in den Zellen enthaltenen Flüssigkeit auf die Wurzelzellen kennen. Die Grösse dieser Factoren, besonders die des ersteren

durch das Experiment zu bestimmen, dürfte seine unüberwindlichen Schwierigkeiten haben.

Wären die Zellen der Pflanze, insbesondere die ihrer verdunstenden Oberfläche, also vorzüglich die Epidermiszellen zarte, beim Beginne der Transspiration selbst völlig mit Flüssigkeit gefüllte Bläschen, so müssten dieselben bei eintretender Verdunstung, so wie die bei dem Apparate Fig. 3 verwendete Blase, wenn in ihr kein Drathballon eingebunden wäre, zusammenfallen. Was bei diesem Versuche der Drathballon, das sind im Blatte die Rippen. Die verdickten Aussenwände der nur theilweise von Nachbarzellen gestützten Epidermiszellen dienen der Pflanze nicht nur zum Schutze gegen schädliche äussere Einflüsse, sondern verleihen insbesondere den auf dieser Seite freiliegenden Epidermiszellen eine grössere Festigkeit, welche noch durch die verschiedenen in die Zellwände stets eingelagerten Salze (Incrustationen) und durch die hier insbesonders häufig abgelagerte Kieselsäure [1]) vergrössert wird.

Sowohl die grünen als die chlorophyllosen Blätter haben unter Anderm auch die Aufgabe, vermittelst ihrer verdunstenden Oberfläche der Pflanze die nothwendigen, im Wasser gelösten Nahrungsstoffe in genügender Menge zuzuführen. Bei sonst gleichen Bedingungen ist die Verdunstung um so grösser, je grösser die Oberfläche. Fleischige Blätter werden daher weniger verdunsten, als nicht fleischige, runde weniger als flache. Würde z. B. die ganze Blattsubstanz der Blätter der Crassulaceen in die Form der Blätter von *Salix purpurea* gebracht, so würden sie unter den Bedingungen, unter welchen sie sich ganz wohl befinden, sicher in kurzer Zeit verwelken.

Die eigenthümliche Physiognomie der Alpenvegetation lässt sich kaum — weder durch die dort herrschende Temperatur noch durch den geringen Luftdruck allein — erklären. Der Umstand, dass mit der Erhebung des Bodens über die Meeresfläche die Bäume immer kleiner werden und sich auf hohen Bergen die Gewächse meist krampfhaft an die Erde klammern und sich meist enge zusammenthun, hängt mit der Ursache des Saftsteigens und den Transspirationsbedingungen innig zusammen. — Die Erscheinung des sogenannten Erfrierens von Gewächsen durch Spätfröste und die Beobachtung, dass die jungen, mit den concentrirtesten Säften

---

[1]) Mohl, Bot. Zeitung, 1861, S. 209 u. s. w.

erfüllten Pflanzentheile viel grössere Temperaturveränderungen ertragen können, als die schon ausgewachsenen Pflanzenorgane, dass ferner, nach allgemeiner Erfahrung, die Wirkung eines Spätfrostes insbesonders durch den Standort des Gewächses und die auf die Temperaturerniedrigung folgenden Witterungsverhältnisse bedingt wird, findet in den Bedingungen der Transspiration, wie ich glaube, ihre Erklärung. — Ich werde auf einige der hier in Kürze berichteten Erscheinungen bei einer andern Gelegenheit zurückkommen.